

## ЗАДАЧА ВМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ПАПЕРУ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Шорстка поверхня і неоднорідна структура паперу ускладнюють і обмежують аналіз паперу класичною інженерною механікою. Проблеми із визначенням фізичних властивостей виникають саме через невизначеність товщини матеріалу зі шорсткою поверхнею. Визначити товщину паперу вдається завдяки розв'язанню рівнянь жорсткості на вигін та розтягнення.*

**Ключові слова:** шорстка поверхня, папір, неоднорідна структура, жорсткість, вигін.

### Abstract

The rough surface and inhomogeneous structure of the paper is stored and limited by the analysis of paper by classical engineering mechanics. Problems with the importance of physical power arise precisely because of the innocence of the thickness of the material with a rough surface.

**Keywords:** rough surface, paper, inhomogeneous structure, rigidity, bending.

### Вступ

Основні показники якості паперу – це щільність, білизна, товщина, твердість, гладкість. Значення товщини паперу, ймовірно, будуть помилкові, якщо вони отримані за допомогою стандартних мікрометрів. Шорсткість поверхні та еластичність неоднорідних волокон паперу призводять до того, що вимірювання товщини, отримані за допомогою стандартних мікрометрів, завжди будуть занадто неточними. Вимірювання показників із значною похибкою можуть бути корисними тільки для отримання порівняльних значень. Для дослідницьких та інженерних цілей потрібен більш точний спосіб визначення товщини паперу[1].

Визначення “ефективної товщини” – це значення, отримане при одночасному розв'язанні рівнянь жорсткості, вигину та розтягнення. Щоб використати класичні рівняння механіки твердого тіла при вивченні фізики паперу, необхідно знати кілька основних фізичних параметрів. Найбільш відомим з цих параметрів є модуль пружності. Для більшості матеріалів це тривіальний розрахунок. Але папір з його шорсткою поверхнею і волокнистою структурною природою створює особливі проблеми через неправильні контури поверхні та пружну волокнисту структуру паперу значення, та форми натискної лапки мікрометра.

Щоб визначити ефективну товщину паперу необхідно експериментально визначити як його жорсткість на розтягнення, так і на вигін. Тоді передбачається, що матеріал є однорідним і лінійно пружним для малих деформацій і прогинів. Ізотропією матеріалу нехтують, оскільки співвідношення для навантаження на розтяг і чистого вигину однакові як для анізотропного, так і для ізотропного матеріалу[3].

Це відповідає сучасній точці зору, що папір є ортотропним матеріалом з головними осями в площині, що відповідають напрямкам машини та між машиною. Жорсткість на вигін  $S_B$  і жорсткість при розтягуванні  $S_E$  надаються як

$$S_B = EI = E \frac{1}{12} WT^3$$

$$S_E = EA = EWT$$

Модуль пружності  $E$  в цих рівняннях, пов'язаний з напрямком прикладеного навантаження при розтягуванні і напрямом осі балки при чистому вигині. Одночасне вирішення цих рівнянь для  $T$  дає:

$$T_{eff} = \sqrt{12 \frac{S_B}{S_E}} = \sqrt{12 \frac{(EI)}{(EA)}} = \sqrt{12 \frac{EWT^3}{E12WT}}$$

де,  $W$  - ширина,  $T$  - товщина,  $E$  – модуль пружності,  $S_B$  – жорсткість на вигин,  $S_E$  – жорсткість при розтягуванні,  $I$  - момент інерції,  $A$  - площа поперечного перерізу.

Визначення ефективної товщини передбачає, що аркуш паперу пружно однорідний. Проте загальновізвано, що папір має градієнт щільності через нерівномірний розподіл дрібнозернистих частинок і їх різний ступінь ущільнення по товщині листа. Зміни щільності відображаються змінами модуля пружності. Отже, існування градієнта щільності, у свою чергу, призведе до зміни модуля пружності через товщину листа[3].

Автоматизований мікрометр дає значення, яке завжди перевищує ефективну товщину через шорстку поверхню аркуша паперу.

Для деяких багатошарових паперових матеріалів визначення ефективної товщини є невідповідним. Прикладом є шести шаровий комерційний картон. Це картонний матеріал з покриттям, для якого ефективна товщина задається. Покриття мінімізує вплив шорсткості поверхні і в той же час різко збільшує модуль пружності зовнішніх шарів. Збільшення модуля пружності зовнішніх шарів, у свою чергу, збільшить відношення вигину до жорсткості при розтягуванні. Збільшення цього співвідношення значно збільшить різницю між ефективною товщиною та фактичною фізичною товщиною.

Одним із варіантів знаходження фактичної фізичної товщини паперу є використання ультразвукового дослідження. При цьому відпадає необхідність знаходження градієнта щільності по товщині паперу та автоматизує процес вимірювання[2].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Effective thickness of paper: appraisal and further development: USDA forest service FPL287, U.S. Department of agriculture forest service forest products laboratory Madison, WIS.
2. М. В. Гладишевський, «Аналіз системи вимірювання витрат газу» на IX Міжнародній науково-практичній конференції. Політ. Сучасні проблеми науки, Київ, 2009, с. 56.
3. Й. Й. Білинський і М. В. Гладишевський, «Аналіз метрологічних характеристик засобів вимірювання об'єму та витрати плинних середовищ», на Всеукраїнському семінар-нараді. Облік природного газу та метрологія, Козин, 2016, с. 13-15.

**Йосип Йосипович Білинський** – доктор техн.наук., проф., Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [yosyp.bilynsky@gmail.com](mailto:yosyp.bilynsky@gmail.com)

**Ігор Андрійович Бойко** — аспірант, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [mr.boy4ik@gmail.com](mailto:mr.boy4ik@gmail.com);

**Bilynsky Yosyp Y.** – Doctor of Technical Scienced, Prof. Vinnitsa National Technical University, Vinnitsia, e-mail: [mr.boy4ik@gmail.com](mailto:mr.boy4ik@gmail.com);

**Ihor Boiko** — student of MNT-17m, Department of infocommunications, electronics and nanosystems, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: [mr.boy4ik@gmail.com](mailto:mr.boy4ik@gmail.com);